苜蓿草粉对育肥猪肉品质、肌肉氨基酸和脂肪酸含量的影响

朱晓艳[1,2] 吕先召[1,2] 邱晓东[3] 刘伯帅[1,2] 贾泽统[1,2] 史莹华[1,2] 王成章[1,2*]

（1.河南农业大学牧医工程学院，郑州 450002；2.河南省草地资源创新与利用重点实验室，郑州 450002；3.河南新大牧业股份有限公司，郑州 450000）

摘　要：本试验旨在探讨饲粮添加苜蓿草粉对育肥猪生长性能、肉品质、肌肉氨基酸和脂肪酸含量的影响。选择平均体重（60.28±0.73） kg 的健康“长×大”或“大×长”二元育肥猪 130 头，随机分为 5 组，每组 26 个重复，每个重复 1 头猪。对照组饲喂基础饲粮，试验组在基础饲粮中分别添加 5%、10%、20%和 30%的苜蓿草粉。预试期 7 d，正试期 72 d。结果表明：1）5%苜蓿草粉组育肥猪的平均日增重（ADG）最高，增重成本最低。2）饲粮添加苜蓿草粉对育肥猪的肌肉 $pH_{45\ min}$、熟肉率、大理石纹和肉色无显著影响（$P>0.05$）；与对照组相比，各苜蓿草粉组的肌肉 $pH_{24\ h}$ 极显著降低（$P<0.01$）；30%苜蓿草粉组的肌肉滴水损失显著低于对照组和 5%苜蓿草粉组（$P<0.05$）。3）与对照组相比，20%苜蓿草粉组育肥猪的肌肉鲜味氨基酸（DAA）（天冬氨酸、谷氨酸、甘氨酸、丙氨酸）、必需氨基酸（EAA）（蛋氨酸、缬氨酸、异亮氨酸、苯丙氨酸、亮氨酸、苏氨酸、赖氨酸）、组氨酸、精氨酸、酪氨酸、丝氨酸、脯氨酸及总氨基酸（TAA）含量显著提高（$P<0.05$）。4）随饲粮苜蓿草粉添加水平的增加，育肥猪的肌肉饱和脂肪酸（SFA）、单不饱和脂肪酸（MUFA）含量逐渐减少，肌肉不饱和脂肪酸（UFA）、多不饱和脂肪酸（PUFA）、n-6 PUFA 和 n-3 PUFA 含量逐渐增加。

收稿日期：2018-03-07

基金项目：“948”项目（2015-Z46）；河南省科技攻关项目（152102410030）；国家牧草产业技术体系建设专项基金（CARS-35）；河南农业大学科技创新基金项目（30600968）；河南农业大学博士科研启动项目（30600648）

作者简介：朱晓艳(1981—)，女，河南新乡人，讲师，博士研究生，研究方向为动物营养与饲料科学。E-mail: zxy_0512@163.com

*通信作者：王成章，教授，博士生导师，E-mail: wangchengzhang@263.net

与对照组相比，20%和30%苜蓿草粉组的肌肉MUFA、油酸含量显著降低（P<0.05），肌肉UFA含量显著提高（P<0.05）；20%和30%苜蓿草粉组的肌肉PUFA、亚油酸、α-亚麻酸、n-6 PUFA和n-3 PUFA含量均显著高于对照组、5%和10%苜蓿草粉组（P<0.05）；肌肉n-6 PUFA/n-3 PUFA含量极显著低于对照组、5%和10%苜蓿草粉组（P<0.01）。综上，饲粮添加20%苜蓿草粉可使育肥猪的肌肉DAA、EAA含量以及PUFA中亚油酸、α-亚麻酸含量提高，n-6 PUFA/n-3 PUFA降低，有利于n-3 PUFA在肌肉中的富集，可以提高猪肉品质和营养价值。

关键词：苜蓿草粉；育肥猪；氨基酸；脂肪酸；n-6 PUFA/n-3 PUFA

中图分类号：S828　　　　　　　　文献标识码：　　　　　　　　　　文章编号：

随着人们生活水平的提高和保健意识的增强，消费者对猪肉的品质、营养价值、风味和安全提出了更高的要求，发展高档猪肉是必然趋势。肌肉氨基酸和脂肪酸的组成、含量及比例是衡量肌肉营养价值和风味的重要指标[1-2]，如何最大程度增加猪肉中对人体有益的成分，减少不利成分，也是当今养猪业和食品行业研究的热点。通过调整饲粮配方改变猪肉氨基酸和脂肪酸组成是一种非常有效的方法。因此，利用绿色、安全、高效的牧草饲料开发具有高附加值的高品质猪肉符合现代人对"绿色猪肉"的要求。目前，国内许多生猪养殖企业开始尝试在猪饲粮中添加苜蓿草粉来生产高档猪肉。紫花苜蓿（*Medicago sativa* L.）是一种优质的饲料原料，富含蛋白质、维生素、氨基酸、矿物质等营养成分[3]，及皂苷、多糖、黄酮等多种生物活性物质[4]。研究表明，在妊娠母猪饲粮中添加苜蓿草粉，能改善母猪的繁殖性能，增加产仔数，降低仔猪死亡率，增加断奶仔猪数[5-7]；在育肥猪饲粮中添加不同比例的苜蓿草粉，能提高日增重和采食量等生长性能指标，同时有提高瘦肉率、屠宰率、眼肌面积，降低背膘厚，改善肉色及血液生化指标等作用[8-11]。但国内外有关苜蓿草粉对育肥猪肌肉氨基酸和脂肪酸组成和含量的影响鲜见报道。鉴于此，本文通过饲养和屠宰试验，研究不同苜蓿草粉添加水平对育肥猪肉品质、肌肉氨基酸和脂肪酸组成和含量的影响，探索生产高品质猪

肉的适宜苜蓿草粉添加水平，为苜蓿在高品质猪肉生产中的应用和发展提供科学依据。

1　材料与方法

1.1　试验材料

苜蓿草粉用同一批次初花期刈割的紫花苜蓿自然干燥加工而成，由河南省镇平敏霞牧业有限公司提供，其常规营养成分含量见表1。

表1　苜蓿草粉的常规营养成分含量（干物质基础）

Table 1　Conventional nutrient contents of alfalfa meal (DM basis)　　%

项目 Items	含量 Content
干物质 DM	89.66
粗蛋白质 CP	19.81
中性洗涤纤维 NDF	42.36
酸性洗涤纤维 ADF	32.05
粗脂肪 EE	2.12
粗灰分 Ash	8.11
钙 Ca	1.59
磷 P	0.30

1.2　试验设计与饲养管理

饲养试验于河南省新大牧业有限公司进行，屠宰试验于河南沁阳食品有限公司进行。选择平均体重（60.28±0.73） kg的健康“长×大”或“大×长”二元育肥猪130头，随机分为5组，每组26个重复，每个重复1头猪。对照组饲喂基础饲粮，试验组在基础饲粮中分别添加5%、10%、20%和30%的苜蓿草粉。采用奥斯本种猪生产性能测定系统（美国）饲喂。预试期7 d，正试期72 d。参照NRC（2012）[12]猪的营养需要及猪场的实际饲喂水平进行饲粮配制，试验饲粮组成及营养水平见表2。

表 2　试验饲粮组成及营养水平（干物质基础）

Table 2　Composition and nutrient levels of experimental diets (DM basis)　　%

项目 Items	对照组 Control group	5%苜蓿草粉组 5% alfalfa meal group	10%苜蓿草粉组 10% alfalfa meal group	20%苜蓿草粉组 20% alfalfa meal group	30%苜蓿草粉组 30% alfalfa meal group
原料 Ingredients					
玉米 Corn	71.05	73.83	70.70	61.13	51.56
豆粕 Soybean meal	16.50	16.48	15.33	12.44	9.53
麸皮 Bran	9.20	1.63			
苜蓿草粉 Alfalfa meal		5.00	10.00	20.00	30.00
大豆油 Soybean oil			1.09	3.89	6.68
石粉 Limestone	1.20	1.00	0.82	0.52	0.20
磷酸氢钙 $CaHPO_4$	0.40	0.40	0.34	0.15	
食盐 NaCl	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
赖氨酸 Lys (98%)	0.23	0.24	0.27	0.33	0.40
蛋氨酸 Met (98%)			0.02	0.07	0.12
苏氨酸 Thr (98%)			0.01	0.05	0.09
色氨酸 Try (98%)	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
预混料 Premix[1)]	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
合计 Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
营养水平 Nutrient levels[2)]					
消化能 DE/（MJ/kg）	13.60	13.60	13.60	13.60	13.60
粗蛋白质 CP	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00

钙 Ca	0.59	0.59	0.59	0.59	0.59
有效磷 AP	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26
赖氨酸 Lys	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
蛋氨酸+半胱氨酸 Met+Cys	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44
苏氨酸 Thr	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50

1)预混料为每千克饲粮提供 The premix provided the following per kg of diets：VA 8 000 IU，VD 3 000 IU，VE 33.6 IU，VB_2 3.2 mg，VB_{12} 12 μg，烟酸 nicotinic acid 16 mg，泛酸 pantothenic acid 10 mg，生物素 biotin 0.168 mg，叶酸 folic acid 1.28 mg，Cu 11.2 mg，Fe 140 mg，Zn 65.6 mg，Mn 37.6 mg，I 1.52 mg，Se 0.30 mg。

2)营养水平为计算值。Nutrient levels were calculated values.

试验猪每日饲喂 2 次（08:00 和 17:00），自由采食和饮水，其他饲养管理和相关防疫与猪场一致。饲养试验结束后称重为（114.00±3.07） kg，每组选出体重相近的试验猪 5 头，共 25 头，禁食 24 h（自由饮水）后屠宰。屠宰后立即取左侧胴体背最长肌样品，用 4 ℃磷酸盐缓冲液（PBS）漂洗干净后装袋，编号，液氮速冻，-20 ℃冰箱保存，用于肉品质、肌肉氨基酸和脂肪酸含量测定。

1.3 测定指标与方法

1.3.1 生产性能

试验采用奥斯本种猪生产性能测定系统（美国），详细记录每头猪每日的采食时间、采食次数、采食量、初始体重和结束体重、不同阶段生长天数，据此计算出 60~100 kg 育肥阶段的平均日增重（ADG）、平均日采食量（ADFI）和料重比（F/G）。

1.3.2 肉品质

参照 NY/T 821—2004《猪肌肉品质测定技术规范》、《猪生产学》[13]相关方法测定屠宰

后背最长肌的 $pH_{45\ min}$、$pH_{24\ h}$（PB-10 sartorius pH 计）、肉色（美制 NPPC 比色板）、大理石纹、熟肉率和滴水损失。

1.3.3 肌肉氨基酸含量

背最长肌样品解冻后，参照 GB/T 5009.124—2003 进行前处理，用全自动氨基酸分析仪（Hitachi L-8900）测定肌肉氨基酸含量。

1.3.4 肌肉脂肪酸含量

背最长肌样品解冻后，根据 GB/T 9695.2—2008《肉与肉制品　脂肪酸测定》提取肌肉脂肪酸，用气相色谱仪（Agilent 6890N）测定肌肉脂肪酸含量。

1.4 统计分析

试验数据采用 SPSS 20.0 统计软件进行单因素方差分析（one-way ANOVA），Duncan 氏法进行各组间的多重比较，结果以“平均值±标准差（mean±SD）”表示，P<0.05 为差异显著性判断标准。

2 结　果

2.1 苜蓿草粉对育肥猪生长性能的影响

如表 3 所示，在 60~100 kg 育肥阶段，饲粮添加 5%苜蓿草粉对育肥猪的 ADG 有促进作用，较对照组提高 2.24%，但差异不显著（P＞0.05）；与对照组相比，各苜蓿草粉组的 ADFI 和 F/G 有所降低，但差异不显著（P＞0.05）；饲粮添加 10%、20%和 30%苜蓿草粉后，增重成本有所提高，其中，30%苜蓿草粉组较对照组显著提高（P＜0.05），其余各组无显著差异（P＞0.05）。

表 3　苜蓿草粉对育肥猪生长性能的影响

Table 3　Effects of alfalfa meal on growth performance of finishing pigs

项目 Items	对照组 Control group	5%苜蓿草粉组 5% alfalfa meal group	10%苜蓿草粉组 10% alfalfa meal group	20%苜蓿草粉组 20% alfalfa meal group	30%苜蓿草粉组 30% alfalfa meal group

初重 Initial weight/kg	60.12±0.58	60.26±0.51	60.38±0.64	60.47±0.53	60.06±0.49
末重 Final weight/kg	100.10±0.54	100.15±0.52	100.24±0.42	100.24±0.59	100.35±0.92
天数 d	49.10±5.68	47.84±5.26	49.47±4.93	50.80±6.29	51.44±6.46
平均日采食量 ADFI/kg	2.43±0.23	2.40±0.30	2.41±0.20	2.25±0.42	2.31±0.39
平均日增重 ADG/g	821.94±96.16	840.37±89.98	810.93±76.15	800.74±100.52	774.74±77.56
料重比 F/G	2.98±0.30	2.86±0.33	2.98±0.20	2.83±0.48	2.98±0.37
增重成本 Weight gain cost/(元/kg)	7.15±0.71[b]	7.05±0.80[b]	7.49±0.52[b]	7.44±1.25[b]	8.14±1.01[a]

同行数据肩标相同或无字母表示差异不显著（P>0.05），不同小写字母表示差异显著（P＜0.05），不同大写字母表示差异极显著（P＜0.01）。下表同。

In the same row, values with the same or no letter superscripts mean no significant difference (P>0.05), while with different small letter superscripts mean significant difference (P＜0.05), and with different capital letter superscripts mean significant difference (P＜0.01). The same as below.

2.2 苜蓿草粉对育肥猪肉品质的影响

如表 4 所示，各组育肥猪的肌肉 $pH_{45\ min}$、熟肉率、大理石纹和肉色均无显著差异（P＞0.05）。与对照组相比，各苜蓿草粉组的肌肉 $pH_{24\ h}$ 极显著降低（P＜0.01），但各苜蓿草粉组间差异不显著（P＞0.05）。对照组和 5%苜蓿草粉组的肌肉滴水损失显著高于 30%苜蓿草粉组（P＜0.05），但与 10%和 20%苜蓿草粉组相比无显著差异（P＞0.05）。

表 4　苜蓿草粉对育肥猪肉品质的影响

Table 4　Effects of alfalfa meal on meat quality of finishing pigs

项目 Items	对照组 Control group	5%苜蓿草粉组 5% alfalfa meal group	10%苜蓿草粉组 10% alfalfa meal group	20%苜蓿草粉组 20% alfalfa meal group	30%苜蓿草粉组 30% alfalfa meal group

$pH_{45\ min}$	6.34±0.13	6.37±0.11	6.37±0.15	6.42±0.08	6.44±0.02
$pH_{24\ h}$	5.87±0.77^{Aa}	5.62±0.05^{Bb}	5.67±0.09^{Bb}	5.68±0.05^{Bb}	5.69±0.10^{Bb}
滴水损失 Drip loss/%	2.61±0.39^{a}	2.29±0.33^{a}	2.25±0.53^{ab}	2.00±0.40^{ab}	1.92±0.35^{b}
熟肉率 Cooked meat percentage/%	63.38±2.49	64.93±2.69	61.85±1.81	63.54±2.53	62.69±1.47
大理石纹 Marbling score	3.00±0.35	3.10±0.65	3.20±0.44	3.20±0.37	3.20±0.57
肉色 Meat color	2.90±0.42	3.10±0.42	3.20±0.42	3.30±0.27	3.10±0.45

2.3 苜蓿草粉对育肥猪肌肉氨基酸含量的影响

如表 5 所示，20%苜蓿草粉组育肥猪的肌肉总氨基酸（TAA）、必需氨基酸（EAA）和鲜味氨基酸（DAA）含量均显著高于对照组、5%和 10%苜蓿草粉组（P＜0.05），高于 30%苜蓿草粉组，但差异不显著（P>0.05）；对照组、5%、10%和 30%苜蓿草粉组间差异不显著（P>0.05）。20%苜蓿草粉组的肌肉 DAA（天冬氨酸、谷氨酸、甘氨酸、丙氨酸）含量均显著高于对照组、5%和 10%苜蓿草粉组（P＜0.05），与 30%苜蓿草粉组差异不显著（P>0.05）；30%苜蓿草粉组的肌肉丙氨酸含量显著高于对照组、5%和 10%苜蓿草粉组（P＜0.05）。除色氨酸外，20%苜蓿草粉组的其余 7 种 EAA 含量均显著高于对照组（P＜0.05）。20%苜蓿草粉组的肌肉组氨酸、精氨酸、酪氨酸、丝氨酸、脯氨酸含量显著高于对照组（P＜0.05），而肌肉胱氨酸含量却显著低于对照组（P＜0.05）。各组的肌肉 DAA/TAA、EAA/TAA 差异不显著（P＞0.05）。

表 5 苜蓿草粉对育肥猪肌肉氨基酸含量的影响

Table 5 Effects of alfalfa meal on amino acid contents in muscle of finishing pigs %

项目 Items	对照组 Control group	5%苜蓿草粉组 5% alfalfa meal group	10%苜蓿草粉组 10% alfalfa meal group	20%苜蓿草粉组 20% alfalfa meal group	30%苜蓿草粉组 30% alfalfa meal group
天冬氨酸 Asp[1)]	2.14±0.04^{b}	2.16±0.08^{b}	2.16±0.10^{b}	2.31±0.14^{a}	2.27±0.10^{ab}
谷氨酸 Glu[1)]	3.63±0.06^{b}	3.65±0.17^{b}	3.57±0.20^{b}	3.95±0.31^{a}	3.84±0.19^{ab}

甘氨酸 Gly[1)]	0.95±0.01[bc]	0.94±0.03[c]	0.95±0.04[bc]	1.04±0.10[a]	1.03±0.08[ab]
丙氨酸 Ala[1)]	1.30±0.02[b]	1.31±0.04[b]	1.30±0.06[b]	1.42±0.10[a]	1.41±0.07[a]
色氨酸 Try[2)]	0.23±0.00[ab]	0.23±0.01[ab]	0.22±0.01[b]	0.24±0.02[a]	0.24±0.01[ab]
蛋氨酸 Met[2)]	0.65±0.01[b]	0.64±0.03[b]	0.63±0.03[b]	0.71±0.06[a]	0.70±0.03[a]
缬氨酸 Val[2)]	1.14±0.05[bc]	1.12±0.04[c]	1.14±0.05[bc]	1.21±0.06[a]	1.20±0.05[ab]
异亮氨酸 Ile[2)]	1.10±0.02[b]	1.11±0.04[b]	1.11±0.06[b]	1.20±0.07[a]	1.19±0.06[a]
亮氨酸 Leu[2)]	1.89±0.04[b]	1.89±0.08[b]	1.89±0.10[b]	2.05±0.13[a]	2.01±0.09[a]
苯丙氨酸 Phe[2)]	1.14±0.02[b]	1.15±0.03[ab]	1.18±0.05[ab]	1.21±0.05[a]	1.19±0.04[ab]
赖氨酸 Lys[2)]	2.19±0.04[b]	2.20±0.09[b]	2.19±0.11[b]	2.38±0.17[a]	2.32±0.11[ab]
苏氨酸 Thr[2)]	1.03±0.01[b]	1.03±0.08[b]	1.04±0.05[ab]	1.11±0.07[a]	1.08±0.05[ab]
组氨酸 His	1.04±0.02[b]	1.05±0.02[b]	1.05±0.09[b]	1.12±0.03[a]	1.13±0.03[a]
精氨酸 Arg	1.59±0.03[bc]	1.59±0.07[bc]	1.58±0.09[c]	1.74±0.14[a]	1.71±0.09[ab]
胱氨酸 Cys	0.18±0.03[a]	0.17±0.03[a]	0.16±0.02[ab]	0.13±0.01[bc]	0.11±0.01[c]
酪氨酸 Tyr	0.87±0.01[b]	0.88±0.04[b]	0.88±0.05[b]	0.99±0.07[a]	0.97±0.05[a]
丝氨酸 Ser	0.85±0.01[b]	0.86±0.03[ab]	0.87±0.05[ab]	0.91±0.06[a]	0.89±0.04[ab]
脯氨酸 Pro	0.74±0.06[c]	0.76±0.02[bc]	0.76±0.04[bc]	0.84±0.08[ab]	0.85±0.06[a]
必需氨基酸 EAA	9.37±0.18[b]	9.37±0.38[b]	9.40±0.46[b]	10.12±0.63[a]	9.94±0.45[ab]
鲜味氨基酸 DAA	8.02±0.11[b]	8.05±0.33[b]	7.98±0.40[b]	8.72±0.64[a]	8.55±0.42[ab]
总氨基酸 TAA	22.66±0.32[b]	22.73±0.89[b]	22.68±1.12[b]	24.57±1.60[a]	24.13±1.10[ab]
鲜味氨基酸/总氨基酸 DAA/TAA	35.41±0.10	35.42±0.12	35.17±0.14	35.47±0.35	35.42±0.17
必需氨基酸/总氨基酸 EAA/TAA	41.34±0.27	41.21±0.14	41.43±0.12	41.19±0.25	41.18±0.29

1)鲜味氨基酸 delicious amino acid。

2)必需氨基酸 essential amino acid。

2.4 苜蓿草粉对育肥猪肌肉脂肪酸含量的影响

如表 6 所示，随苜蓿草粉添加水平的增加，育肥猪的肌肉饱和脂肪酸（SFA）、单不饱和脂肪酸（MUFA）含量逐渐减少，肌肉不饱和脂肪酸（UFA）、多不饱和脂肪酸（PUFA）、n-6 PUFA 和 n-3 PUFA 含量逐渐增加。30%苜蓿草粉组的肌肉 SFA 含量显著低于对照组和 5%苜蓿草粉组（P＜0.05），与 10%和 20%苜蓿草粉组无显著差异（P＞0.05）。30%苜蓿草粉组的肌肉 MUFA 含量极显著低于对照组、5%和 10%苜蓿草粉组（P＜0.01），显著低于 20%苜蓿草粉组（P＜0.05）；20%苜蓿草粉组的肌肉 MUFA 含量极显著低于对照组和 5%苜蓿草粉组（P＜0.01），显著低于 10%苜蓿草粉组（P＜0.05）。30%苜蓿草粉组的肌肉 UFA 含量极显著高于对照组和 5%苜蓿草粉组（P＜0.01），显著高于 10%苜蓿草粉组（P＜0.05），与 20%苜蓿草粉组无显著差异（P＞0.05）。30%苜蓿草粉组的肌肉 PUFA、*n*-6 PUFA 和 n-3 PUFA 含量均极显著高于对照组、5%和 10%苜蓿草粉组（P＜0.01），显著高于 20%苜蓿草粉组（P＜0.05）。MUFA 中，20%和 30%苜蓿草粉组的肌肉油酸含量显著低于对照组（P＜0.05）。PUFA 中，20%和 30%苜蓿草粉组的肌肉亚油酸、α-亚麻酸含量显著高于对照组、5%和 10%苜蓿草粉组（P＜0.05）；30%苜蓿草粉组的肌肉γ-亚麻酸含量显著高于对照组（P＜0.05）。与对照组、5%和 10%苜蓿草粉组相比，饲粮添加 20%和 30%苜蓿草粉极显著降低肌肉 n-6 PUFA/n-3 PUFA（P＜0.01），有利于 n-3 PUFA 在肌肉中的富集。

表 6 苜蓿草粉对育肥猪肌肉脂肪酸含量的影响

Table 6 Effects of alfalfa meal on fatty acid contents in muscle of finishing pigs %

项目 Items	对照组 Control group	5%苜蓿草粉组 5% alfalfa meal group	10%苜蓿草粉组 10% alfalfa meal group	20%苜蓿草粉组 20% alfalfa meal group	30%苜蓿草粉组 30% alfalfa meal group

豆蔻酸 Myristic acid （C14:0）	1.22±0.15^{a}	1.14±0.08^{ab}	1.12±0.11^{ab}	1.22±0.13^{a}	1.09±0.12^{b}
棕榈酸 Palmitic acid （C16:0）	22.66±1.88	17.57±8.66	21.20±1.41	21.22±1.32	19.88±0.89
硬脂酸 Stearic acid （C18:0）	11.60±0.86^{a}	11.76±0.18^{a}	11.38±0.59^{a}	10.55±1.19^{ab}	9.99±1.06^{b}
二十碳一烯酸 Eicosenoic acid （C20:1）	0.71±0.07^{ab}	0.77±0.06^{a}	0.75±0.18^{ab}	0.63±0.12^{ab}	0.60±0.05^{b}
棕榈油酸 Palmitoleic acid （C16:1）	4.55±0.85	4.86±0.50	4.70±0.88	4.45±0.75	4.21±0.46
油酸 Oleic acid （C18:1*n*-9）	44.48±1.76^{a}	44.14±1.50^{a}	42.56±3.91^{ab}	39.45±2.98^{bc}	36.12±3.19^{c}
亚油酸 Linoleic acid （C18:2*n*-6）	8.99±1.74^{c}	7.67±1.18^{c}	9.20±1.85^{c}	14.7±3.01^{b}	17.58±2.34^{a}
α-亚麻酸 α-linolenic acid （C18:3*n*-3）	0.58±0.12^{c}	0.47±0.10^{c}	0.71±0.10^{c}	1.44±0.27^{b}	1.75±0.32^{a}
γ-亚麻酸 γ-Linolenic acid （C18:3*n*-6）	1.68±1.34^{b}	2.83±0.64^{ab}	3.17±1.18^{a}	2.53±1.03^{ab}	3.54±1.18^{a}
花生四烯酸 Arachidonic acid （C20:4*n*-6）	0.74±0.32	0.88±0.13	1.24±0.40	0.89±0.2	1.11±0.27
饱和脂肪酸 SFA	35.48±2.80^{a}	34.30±1.65^{a}	33.70±1.59^{ab}	32.99±2.49^{ab}	30.95±1.82^{b}
不饱和脂肪酸 UFA	61.74±1.57^{Bc}	61.63±1.04^{Bc}	62.19±1.63^{ABbc}	64.08±2.14^{ABab}	64.91±1.04^{Aa}
单不饱和脂肪酸 MUFA	49.75±1.53^{Aa}	49.77±1.43^{Aa}	48.02±3.75^{ABa}	44.53±2.50^{BCb}	40.93±3.10^{Cc}
多不饱和脂肪酸 PUFA	12.00±1.90^{Bc}	11.85±1.38^{Bc}	14.17±3.41^{Bc}	19.55±4.14^{Ab}	23.97±3.21^{Aa}
n-6 多不饱和脂肪酸 n-6 PUFA	11.41±1.78^{Cc}	11.38±1.29^{Cc}	13.61±3.24^{BCc}	18.11±3.90^{ABb}	22.22±3.00^{Aa}
n-3 多不饱和脂肪酸 n-3 PUFA	0.58±0.12^{Bc}	0.47±0.10^{Bc}	0.71±0.10^{Bc}	1.44±0.27^{Ab}	1.75±0.32^{Aa}
n-6 多不饱和脂肪酸/n-3 多不饱和脂肪酸 n-6 PUFA/n-3 PUFA	19.79±1.70^{Ab}	24.54±2.86^{Aa}	19.79±4.08^{Ab}	12.53±1.04^{Bc}	12.92±2.27^{Bc}

3 讨 论

3.1 苜蓿草粉对育肥猪生长性能的影响

研究表明，饲粮添加苜蓿草粉能够在一定程度上改善育肥猪的生长性能，生长猪饲粮中添加5%~10%优质苜蓿草粉，可使其获得良好的生长性能和胴体性状[14-15]。张勇等[16]在20~90

kg 育肥猪饲粮中添加 5%~9%苜蓿草粉，发现饲粮营养成分可以满足其生长需求，但增重变化不大。徐向阳等[8]研究发现，在二元杂交猪饲粮中添加 5%和 10%的苜蓿草粉，有利于提高生长猪的增重和饲料转化率；当添加水平增加至 15%~20%时，上述指标均比对照组有所降低。王彦华[11]研究结果显示，在肥育猪饲粮中添加苜蓿草粉对肥育猪的生长性能无显著影响，添加 7%和 14%苜蓿草粉其增重效果和料重比有优于对照组的趋势。赵静[17]研究报道，在育肥猪饲粮中添加 10%和 15%苜蓿草粉能显著提高育肥猪的日增重，降低料重比。本试验研究结果显示，饲粮添加 5%苜蓿草粉有利于提高育肥猪的 ADG，降低 F/G 和增重成本，说明在育肥猪饲粮中添加适宜水平的苜蓿草粉是可行的，不仅能满足育肥猪的能量需求，还能提高育肥猪对饲粮的利用；但当苜蓿草粉的添加水平增至 30%时，ADG 降低，增重成本显著提高，可能与高纤维饲粮提高饱腹感、降低采食量有关；也可能与饲粮纤维水平超出育肥猪消化道容纳高纤维饲粮的能力，纤维中的抗营养因子影响营养物质的消化吸收，进而影响育肥猪的生长性能有关[18]。

3.2 苜蓿草粉对育肥猪肉品质的影响

猪肉品质的下降与屠宰后肌肉中大量脂质发生过氧化反应、破坏细胞膜有关。苜蓿含有丰富的皂苷、黄酮、多糖等生物活性物质，其抗氧化作用能保护肌肉细胞的完整性，从而起到改善猪肉品质的作用。研究表明，育肥猪饲粮添加苜蓿草粉能不同程度降低背膘厚，提高屠宰率和瘦肉率[10]，对猪肉的 pH、滴水损失、熟肉率、肉色和大理石纹等指标无显著影响，但对感官肉品质有一定的改善作用[17,19-20]。本试验中，饲粮添加苜蓿草粉对育肥猪的肌肉 $pH_{45\ min}$、熟肉率、大理石纹均无显著影响，$pH_{24\ h}$ 极显著降低，但仍在正常范围内，可能与苜蓿草粉提高肌肉 UFA 含量有关。随着饲粮苜蓿草粉添加水平的增加，滴水损失逐渐降低，肉色有所改善，这说明育肥猪饲粮添加苜蓿草粉能改善猪肉的颜色和系水力，提高肉品质。

3.3 苜蓿草粉对育肥猪肌肉氨基酸含量的影响

氨基酸的种类、含量以及比例与肌肉品质和风味相关[21]。EAA 含量决定了肌肉蛋白质

的品质，而谷氨酸、甘氨酸、天冬氨酸和丙氨酸等主要 DAA 则为肌肉风味提供了物质基础[22]。研究表明，生长猪饲粮添加一定水平的青绿饲料，能不同程度提高肌肉 EAA 和 DAA 含量，改善肉品质和风味[23-26]。本研究发现，饲粮添加 20%苜蓿草粉能显著提高育肥猪的肌肉天冬氨酸、谷氨酸、丙氨酸、甘氨酸 4 种主要 DAA 含量，同时能显著提高蛋氨酸、缬氨酸、异亮氨酸、苯丙氨酸、亮氨酸、苏氨酸、赖氨酸 7 种人体 EAA 含量及 TAA 含量。这说明苜蓿草粉有益于 EAA 和 DAA 在育肥猪肌肉中的累积，其中 20%苜蓿草粉添加水平可以显著改善猪肉的香味，提高猪肉品质。

3.4 苜蓿草粉对育肥猪肌肉脂肪酸含量的影响

随着对健康饮食的追求，人们越来越重视肉品的脂肪酸组成。脂肪酸包括 MUFA、PUFA、SFA，是构成肉类脂肪的主要物质，同时也是构成肉类特有风味的基础[27-28]。PUFA 对人体激素代谢和许多酶的活性起调控作用，在调节脂质代谢、预防心脑血管疾病、延缓免疫功能衰退等方面有广泛作用。研究表明，猪肉的脂肪酸类型受饲粮脂肪酸类型的影响[29-30]，育肥猪饲粮添加富含亚麻酸的亚麻油或亚麻籽能显著提高猪肉的 PUFA 含量[31-32]，猪肉脂肪组织的α-亚麻酸含量与饲粮的α-亚麻酸含量高度相关[33]。本试验结果表明，随苜蓿草粉添加水平的增加，育肥猪的肌肉 SFA、MUFA 含量逐渐减少，肌肉 UFA、PUFA、n-6 PUFA 和 n-3 PUFA 含量逐渐增加。饲粮添加 20%和 30%苜蓿草粉能显著提高育肥猪的肌肉 PUFA 含量，尤其是 PUFA 中亚油酸、α-亚麻酸含量，这可能与苜蓿含丰富的 PUFA 有关。牧草含有大量的亚油酸、亚麻酸等 PUFA，而苜蓿中的α-亚麻酸含量最高，亚油酸次之，油酸和硬脂酸含量较低[34]。这表明饲粮添加 20%和 30%苜蓿草粉能提高 n-3 长链脂肪酸的含量，经消化道吸收后不经氢化，直接合成胴体脂肪[29]，从而为生产富含 PUFA 的猪肉产品提供了可能。

PUFA 中具有重要生物学功能的通常是 n-3 PUFA 和 n-6 PUFA，适宜的 n-6 PUFA/n-3 PUFA 对维持机体多个代谢途径的平衡十分重要[35]，是评价膳食脂肪酸质量的重要指标。研究显示，日本人心血管疾病的死亡率较低，跟膳食中 n-6 PUFA/n-3 PUFA 为 4 左右有关[36]。

联合国粮农组织（FAO）早在 1994 年就对人类膳食摄入的 n-6 PUFA/n-3 PUFA 做出了推荐，以 5~10 为最好[37]。研究表明，饲粮α-亚麻酸含量增加，会与γ-亚麻酸在代谢时产生竞争[38]，从而增加肌肉 n-3 PUFA 含量，显著降低 n-6 PUFA/n-3 PUFA[39]。本试验中，苜蓿草粉添加水平增至 20%和 30%时，均极显著降低育肥猪的肌肉 n-6 PUFA/n-3 PUFA，其比值分别为 12.53 和 12.92，有利于 n-3 PUFA 在肌肉中的富集。虽然肌肉 UFA 含量高，肌肉脂肪变软，在贮存、加工过程中易氧化酸败，但提高肌肉 PUFA 含量对人体健康是有益的。苜蓿草粉对育肥猪的肌肉氨基酸和脂肪酸组成影响的研究还处于探索阶段，苜蓿含有皂苷、多糖、黄酮等多种生物活性物质[2]，是哪种成分调节了猪肉的氨基酸和脂肪酸组成?其具体机理机制还有待进一步研究。

4 结 论

综上所述，饲粮添加 20%苜蓿草粉时，育肥猪的肌肉 DAA、EAA 含量以及 PUFA 中亚油酸、α-亚麻酸含量显著提高，n-6 PUFA/n-3 PUFA 显著降低，有利于 n-3 PUFA 在肌肉中的富集，可以更好地改善猪肉风味，提高猪肉品质和营养价值。

参考文献：

［1］ 王斌星,王鼎,郭春华,等.能量水平对舍饲育肥牦牛肌肉理化指标和氨基酸、脂肪酸组成及含量的影响[J].中国畜牧兽医,2016,43(8):2005–2012.

［2］ 杨雪海,付聪,魏金涛,等.不同来源的粗饲料对育肥牛牛肉氨基酸及脂肪酸组成的影响[J].饲料工业,2017,38(1):42–46.

［3］ 韩春梅,张新全,杨春华,等.苜蓿叶蛋白的开发利用现状[J].草业科学,2005,22(9):23–27.

［4］ SPILLMAN A.Nutrient boost for alfalfa silage[J].Agricultural Research,2003,51(12):20–21.

［5］ 廉红霞,王成章,杨雨鑫,等.不同苜蓿草粉添加水平对妊娠母猪及其仔猪生产性能的影响[J].西北农林科技大学学报（自然科学版）,2004,32(6):35–40.

［6］ 臧为民,廉红霞,王成章,等.不同水平苜蓿草粉对哺乳母猪及其仔猪生产性能及血清指标的影响[J].西北农林科技大学学报（自然科学版）,2005,33(2):54–59.

［7］ CRISTE R D,UNTEA A,PANAITE T,et al.Effect of the dietary alfalfa on iron balance in weaned piglets[J].Archiva Zootechnica,2008,11(2):49–56.

［8］ 徐向阳,王成章,杨雨鑫,等.苜蓿草粉对生长猪生产性能及血清指标的影响[J].华中农业大学学报,2006,25(2):164–169.

［9］ 王成章,李德锋,严学兵,等.肥育猪饲粮中添加苜蓿草粉对其生产性能、消化率及血清指标的影响[J].草业学报,2008,17(6):71–77.

［10］王成章,徐向阳,杨雨鑫,等.苜蓿草粉对肥育猪胴体品质及血清指标的影响[J].中国农业科学,2008,41(5):1554–1559.

［11］王彦华.苜蓿皂苷和草粉对断奶仔猪和肥育猪生产性能的影响及其机理研究[D].硕士学位论文.郑州:河南农业大学,2007:52-56.

［12］美国国家科学院科学研究委员会.猪营养需求第十一次修订版[M].印遇龙,译.北京:科学出版社,2012.

［13］杨公社.猪生产学[M].北京:中国农业科技出版社,2002:55–58.

［14］SEERLEY R W, WAHLSTROM R C.Dehydrated alfalfa meal in rations for pigs and brood sows in confinement[M].South Dakota Agricultural Experiment Station,South Dakota State University,1968.

［15］STANGROOM K E,SMITH T K.Effect of whole and fractionated dietary alfalfa meal on zearalenone toxicosis and metabolism in rats and swine[J].Canadian Journal of Physiology and Pharmacology,1984,62(9):1219–1224.

［16］张勇,朱宇旌.生长肥育猪饲粮中适宜粗纤维水平的研究[J].饲料工业,1998(9):34–35.

[17] 赵静.添加苜蓿草粉对育肥猪生产性能和肉品质的影响[J].草业科学,2015,32(5):809–815.

[18] KYRIAZAKIS I, EMMANS G C. The voluntary feed intake of pigs given feeds based on wheat bran, dried citrus pulp and grass meal, in relation to measurements of feed bulk[J]. British Journal of Nutrition, 1995, 73(2): 191-207.

[19] 李娜,王巍,金鑫,等.日粮中添加苜蓿草粉对松辽黑猪生长性能及肉质品质的影响[C]//东北养猪研究会 2010 学术年会论文集.阜新:东北养猪研究会,2010:37–40.

[20] 顾丽群,杨正德,王嘉福,等.日粮中添加紫花苜蓿和苦荞对猪生产性能的影响[J].贵州农业科学,2011,39(11):158–161.

[21] 谭毓平,吴买生,易建军,等.沙子岭猪肉质性状与肉的成分测定[J].家畜生态,2004,25(1):17–19.

[22] LORENZO J M,FRANCO D.Fat effect on physico-chemical,microbial and textural changes through the manufactured of dry-cured foal sausage lipolysis,proteolysis and sensory properties[J].Meat Science,2012,92(4):704–714.

[23] ZHANG Z L,ZHOU M L,TANG Y,et al.Bioactive compounds in functional buckwheat food[J].Food Research International,2012,49(1):389–395.

[24] 顾丽菊,燕志宏,张依裕,等.野乔菜替代部分基础日粮对从江香猪肌肉脂肪酸及氨基酸的影响[J].中国畜牧兽医,2016,43(3):689–694.

[25] 毕晋明,贾安峰.杂交狼尾草对育肥猪氨基酸和脂肪酸组成的影响[J].广东饲料,2016,25(3):24–26.

[26] 黄秀声,黄水珍,陈钟佃,等.不同施肥处理的杂交狼尾草打浆后饲喂育肥猪效果研究[J].家畜生态学报,2008,29(5):69–73.

［27］周选武,黄伟,曹志勇,等.滇南小耳猪与 DLY 商品猪背最长肌营养成分比较分析[J].中国畜牧兽医,2016,43(7):1743–1748.

［28］KONDRACKI S.Effects of breed,sex and feeding intensity on fatty acid composition of the longissimus dorsi muscle[J].Pig News and Information,2000,21(3):105–108.

［29］DING S T,LAPILLONNE A,et al.Dietary fat has minimal effects on fatty acid metabolism transcript concentrations in pigs[J].Journal of Animal Science. 2003,81(2):423–431.

［30］徐彬,崔佳,李绍钰,等.日粮中不同来源多不饱和脂肪酸对育肥猪生长性能和猪肉脂肪酸组成的影响[J].中国饲料,2007(9):27–30.

［31］CORINO C,MUSELLA M,MOUROT J.Influence of extruded linseed on growth,carcass composition,and meat quality of slaughtered pigs at one hundred ten and one hundred sixty kilograms of liveweight[J].Journal of Animal Science,2008,86(6):1850–1860.

［32］DANNENBERGER D,NUERNBERG K,NUERNBERG G,et al.Different dietary protein and PUFA interventions alter the fatty acid concentrations,but not the meat quality,of porcine muscle[J].Nutrients,2012,4(9):1237–1246.

［33］蔡传江,车向荣,赵克斌,等.亚麻油对育肥猪生产性能及猪肉脂肪酸组成的影响[J].营养饲料,2010,46(9):46–48.

［34］郑鸿丹,徐智明,李志强.20 个苜蓿品种不同生育期脂肪酸组成分析[J].中国奶牛,2015(18):29–32.

［35］WOOD J D,RICHARDSON R I,NUTE G R,et al.Effects of fatty acids on meat quality:a review[J].Meat Science,2004,66(1):21–32.

［36］SUGANO M,HIRAHARA F.Polyunsaturated fatty acids in the food chain in Japan[J].The American Journal of Clinical Nutrition,2000,71(1):189S–196S.

［37］FAOO Nations,WH Organization.Fats and oils in human nutrition:report of joint expert consultation[M]//FAO food and nutrition paper.WHO,FAO,1994:57.

［38］RAES K,HAAK L,BALCAEN A,et al.Effect of linseed feeding at similar linoleic acid levels on the fatty acid composition of double-muscled Belgian blue young bulls[J].Meat Science,2004,66(2):307–315.

［39］ENSER M,RICHARDSON R I,WOOD J D,et al.Feeding linseed to increase the n-3 PUFA of pork:fatty acid composition of muscle,adipose tissue,liver and sausages[J].Meat Science,2000,55(2):201–212.

Effects of Alfalfa Meal on Meat Quality, Muscle Amino Acids and Fatty Acids Contents of Finishing Pigs

ZHU Xiaoyan[1,2] LYU Xianzhao[1,2] QIU Xiaodong[3] LIU Boshuai[1,2] JIA Zetong[1,2] SHI Yinghua[1,2] WANG Chengzhang[1,2*]

(1. *College of Animal Science and Veterinary Medicine*, *Henan Agricultural University*, *Zhengzhou* 450002, *China*; 2. *Henan Key Laboratory of Innovation and Utilization of Grassland Resources, Zhengzhou* 450002, *China*; 3. *Henan Xinda Animal Husbandry Co*., *Ltd.*, *Zhengzhou* 450000, *China*）

Abstract: This experiment was conducted to investigate the effects of dietary alfalfa meal on growth performance, meat quality, muscle amino acids and fatty acids contents of finishing pigs. One hundred and thirty healthy “Landrace×Yorkshire” or “Yorkshire ×Landrace” finishing pigs with average body weight of (60.28±0.73) kg were randomly assigned to 5 groups with 26 replicates per group and 1 pig per replicate. Pigs in control group were fed a basal diet, and the others were fed the basal diet supplemented with 5%, 10%, 20% and 30% alfalfa meal,

*Corresponding author, professor, E-mail: wangchengzhang@263.net （责任编辑 李慧英）

respectively. The pre-experiment lasted for 7 days, and the experiment lasted for 72 days. The results showed as follows: 1) average daily gain (ADG) of finishing pigs in 5% alfalfa meal group was the highest and the weight gain cost was the lowest. 2) Dietary alfalfa meal had no significant effects on muscle $pH_{45\ min}$, cooked meat percentage, marbling score and meat color of finishing pigs (*P*>0.05). Compared with control group, muscle $pH_{24\ h}$ in all alfalfa meal groups was significantly decreased (*P*<0.01). Muscle drip loss in 30% alfalfa meal group was significantly lower than that in control group and 5% alfalfa meal group (*P*<0.05). 3) Compared with control group, the contents of delicious amino acid (DAA) (aspartic acid, glutamic acid, glycine, alanine), essential amino acid (EAA) (methionine, valine, isoleucine, phenylalanine, leucine, threonine, lysine), histidine, arginine, tyrosine, serine, proline and total amino acid (TAA) in muscle of finishing pigs in 20% alfalfa meal group were significantly increased (*P*<0.05). 4) With dietary alfalfa meal supplemental level increasing, the contents of saturated fatty acid (SFA) and monounsaturated fatty acid (MUFA) in muscle of finishing pigs were gradually decreased, while the contents of unsaturated fatty acid (UFA), polyunsaturated fatty acid (PUFA), n-6 PUFA and n-3 PUFA in muscle were gradually increased. Compared with control group, the contents of MUFA and oleic acid in muscle in 20% and 30% alfalfa meal groups were significantly decreased (*P*＜0.05), and the content of UFA in muscle was significantly increased (*P*＜0.05). The contents of PUFA, linoleic acid, α-linolenic acid, n-6 PUFA and n-3 PUFA in muscle in 20% and 30% alfalfa meal groups were significantly higher than those in control group, 5% and 10% alfalfa meal groups (*P*<0.05), and the ratio of n-6 PUFA to n-3 PUFA was significantly lower than those in control group, 5% and 10% alfalfa meal groups (*P*<0.01). This research shows that diet supplemented with 20% alfalfa meal can improve the contents of DAA, EAA and linoleic acid, α-linolenic acid of PUFA in muscle, decrease the ratio of n-6 PUFA to n-3 PUFA, which is benefit

to enrich n-3 PUFA in muscle, and improve pork quality and nutrient value.

Key words: alfalfa meal; finishing pigs; amino acid; fatty acid; *n*-6 PUFA/*n*-3 PUFA